

# ESTUDIO DE ANILLAS CONCÉNTRICAS MÚLTIPLES PARA SU EMPLEO EN REFLECTARRAYS

I. Barriuso, A. L. Gutierrez, M. Lanza, J.R. Pérez, L. Valle, M. Domingo, J. Basterrechea

{ivan.barriuso, jose.basterrechea}@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Laboratorios I+D de Telecomunicaciones. Plaza de la Ciencia, Avda. Los Castros s/n. 39005 Santander. Spain

**Resumen-** In this work, an alternative to traditional phasing elements used in the implementation of reflectarrays is analyzed. This alternative consists of structures with multiple concentric rings and the method used to analyze the phase shift produced by the elements is based on CG-FFT. The performance offered by multiple rings is compared with more traditional structures with monolayer and multilayer patches. The main advantages of multiple concentric rings are their manufacturing ease and their wide range of phase, reaching up to three or four wavelengths. On the contrary, the high sensitivity of the design curves represents their major drawback. In order to assess the effect of the sensitivity to manufacturing tolerances, a manufacturing simulation of a 625-elements reflectarray that compares the degradation introduced in the radiation pattern against the ideal conditions is presented.

## I. INTRODUCCIÓN

Las antenas de tipo reflectarray se componen de un alimentador (generalmente una antena de tipo bocina) y un reflector plano con elementos desfasadores [1] y teóricamente pueden proporcionar prestaciones similares a las de los reflectores parabólicos y conformados. En la actualidad existen propuestas para su empleo alternativo en algunas aplicaciones como las comunicaciones por satélite.

Este tipo de antenas se fabrican con tecnología de tipo impreso, y por lo general constan de un plano reflector sobre el que se sitúan una o más capas de elementos reflectantes dispuestos en una malla de tipo periódico en dos dimensiones. Las capas de elementos reflectantes se soportan mediante capas dieléctricas.

La síntesis de un determinado diagrama de radiación, ya sea haz colimado o conformado, se realiza mediante el control de la fase del campo que se refleja en cada elemento del reflectarray. La amplitud del campo en cada elemento viene fijada por el alimentador y el plano conductor refleja la totalidad del campo incidente, por lo que el proceso de diseño se simplifica a un problema de síntesis de fase. Los elementos reflectantes o elementos desfasadores deben ofrecer variaciones de fase en el coeficiente de reflexión de al menos 360 grados.

La principal limitación de estas estructuras es su estrecho ancho de banda que está condicionado por los elementos utilizados para sintetizar la fase que son de tipo resonante, y por el tamaño del reflectarray que, si es eléctricamente grande, provoca retardos diferenciales significativos entre el alimentador y las zonas central y bordes del reflectarray. Una

técnica que se ha empleado desde hace unos años en la literatura para aumentar el ancho de banda consiste en el uso de varias capas de elementos apilados.

La técnica de parches apilados ofrece un buen rango en la variación de fase, pero encarece el proceso de fabricación e incrementa los requisitos de precisión de alineamiento principalmente, frente a las estructuras más simples de una sola capa que apenas permiten obtener rangos de fase superior a 360 grados. En este trabajo se analiza el comportamiento de una propuesta reciente de elementos de para reflectarrays [2-4]: las anillas concéntricas múltiples monocapa (Fig. 1) con las que es posible obtener rangos de variación de fase muy amplios para mejorar la respuesta en frecuencia y simplificar el proceso de fabricación.

El método utilizado para realizar el análisis de las estructuras consideradas se presenta en la sección II. La sección III presenta una descripción detallada de las diferentes configuraciones consideradas cuyos resultados se presentan en la sección IV. En la sección V se muestran los resultados de una simulación de la tolerancia de fabricación sobre un reflectarray sencillo diseñado utilizando los resultados de síntesis de fase obtenidos con métodos heurísticos (PSO, SA, etc) [5]. Finalmente, las conclusiones del trabajo se resumen en la sección VI.

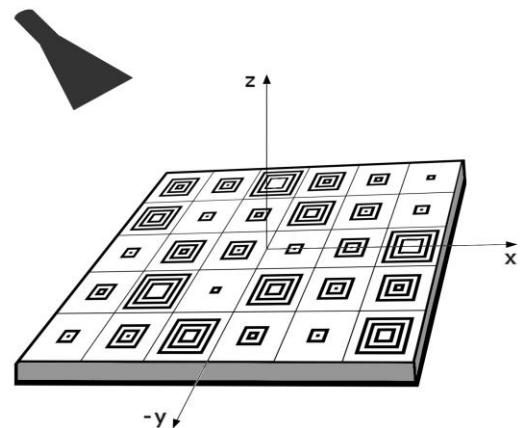


Fig. 1. Esquema simplificado de un reflectarray con anillas múltiples

## II. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS MEDIANTE CG-FFT

El análisis de los elementos se ha realizado utilizando el método CG-FFT [6] bajo la suposición de periodicidad local. Esto permite obtener las curvas de diseño que relacionan la fase con las dimensiones geométricas del elemento para posteriormente implementar el resultado del proceso de síntesis de fase.

Bajo la suposición de periodicidad local, el proceso de cálculo se basa en la naturaleza discreta del problema en el dominio transformado, utilizando las funciones de base de tipo rooftop y las funciones de test blade-razor para representar las corrientes en las metalizaciones de la celda unidad y realizar el promediado, respectivamente. Como resultado final, se obtienen las siguientes expresiones para los operadores de gradiente conjugado:

$$-E_x^{iD}(\vec{r}) = E_{xx}^{SD}(\vec{r}) + E_{xy}^{SD}(\vec{r}) \quad (1)$$

$$-E_y^{iD}(\vec{r}) = E_{yx}^{SD}(\vec{r}) + E_{yy}^{SD}(\vec{r}) \quad (2)$$

con:

$$E_{\alpha\beta}^{SD}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi^2} F^{-1} \left\{ F \left[ \prod (\vec{r} - \vec{r}_\alpha^{mm}) \right] \otimes [\tilde{\gamma}_\alpha \tilde{G}_{\alpha\beta}^F \tilde{J}_\beta^D] \right\} \quad (3)$$

$$E_\alpha^{iD}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi^2} F^{-1} \left\{ F \left[ \prod (\vec{r} - \vec{r}_\alpha^{mm}) \right] \otimes [\tilde{E}_\alpha^i(\vec{r}) \tilde{\gamma}_\alpha] \right\} \quad (4)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  representan  $x$  o  $y$ ,  $F$  y  $F^{-1}$  la transformada directa e inversa de Fourier,  $\sim$  la transformada de Fourier de la función sobre la que se encuentra,  $\gamma$  la función blade-razor,  $\tilde{G}_{\alpha\beta}^F$  la componente  $\alpha\beta$  de la función de Green espectral, y  $\tilde{J}_\beta^D$  la transformada de la función base orientada según  $\beta$ .

El método permite analizar un amplio rango de geometrías con una aproximación a las mismas de tipo escalera así como estructuras multicapa. Con el fin de validar el método, se han comparado los resultados con resultados encontrados en la literatura [7].

## III. ANILLAS CONCÉNTRICAS MÚLTIPLES

Los elementos utilizados para obtener la variación de fase requerida en el reflectarray son de tipo resonante por lo que muestran un comportamiento en la fase del coeficiente de reflexión directamente relacionado con sus dimensiones geométricas con variación más pronunciada en las proximidades de su frecuencia de resonancia. Las estructuras clásicas de una sola capa, como los parches rectangulares, tienen una única resonancia por lo que el rango de fase es limitado. Con el fin de aumentar el rango de fase, se han utilizado parches apilados, lo que permite aumentar su rango de variación de fase significativamente con respecto al caso de los parches monocapa que apenas presentan un rango de 360 grados. En la Fig. 2 se muestra la curva de diseño para dos capas de parches rectangulares a 14 GHz, con un tamaño de celda periódica de 12 mm y una relación para el parche superior de 0.7 veces el inferior. Puede observarse como el rango de variación de la fase alcanza casi 450 grados con dos capas y, por tanto, la respuesta en frecuencia también mejora, a costa de un aumento del coste de fabricación.

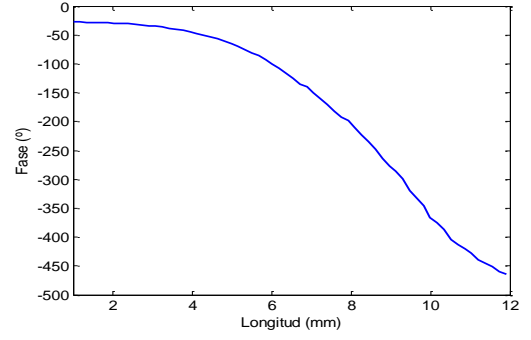


Fig. 2. Curvas de diseño para dos capas de parches rectangulares

Como alternativa a los parches apilados, algunos autores han comenzado recientemente a trabajar con anillas dobles [2-4]. La idea es obtener estructuras monocapa que muestren múltiples resonancias y, por lo tanto, amplios rangos de fase. En este trabajo se consideran estructuras de dos, tres y cuatro anillas concéntricas (Fig. 3). Cada anilla presentará una longitud de resonancia y la distancia entre las anillas influye sobre las mismas de forma que se puede controlar, en cierta medida, la variación de fase. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación y eligiendo adecuadamente tanto la separación de las anillas como el dieléctrico que las soporta (espesor y permitividad) es posible suavizar las pendientes de las curvas de diseño, manteniendo un amplio rango de variación de fase. Se ha comprobado que una reducción en el espesor del dieléctrico aumenta el rango de fase a costa de aumentar su pendiente y dificultando la implementación por las tolerancias de fabricación. Sustratos con una permitividad baja presentan una pendiente más suave. El objetivo será encontrar configuraciones con rangos de variación de fase amplios y curvas de diseño relativamente uniformes.

Como puede observarse en la Fig. 3, en este trabajo la separación entre las anillas ( $S_{12}$ ,  $S_{23}$ , etc) y su anchura ( $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ , etc) se mantienen constantes y las dimensiones restantes se asignan en función de la dimensión externa de la anilla externa ( $L$ ). Por otra parte, la relación de aspecto se mantiene constante e igual a 1 ( $L_x = L_y = L$ ). El análisis de la estructura se realiza en términos de  $L$ : a medida que  $L$  aumenta, se introducen nuevos anillos de forma secuencial (Fig. 4). Inicialmente, el nuevo anillo es un pequeño parche, lo que permite introducir nuevos elementos resonantes sin causar discontinuidad en la fase.

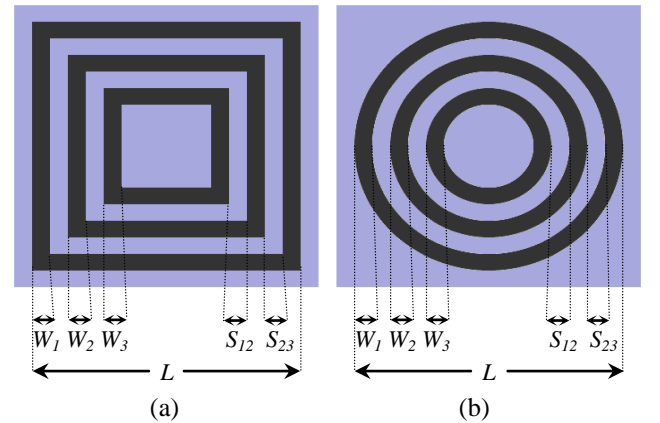


Fig. 3. Dimensiones de las anillas. (a) Anillas rectangulares, (b) Elípticas

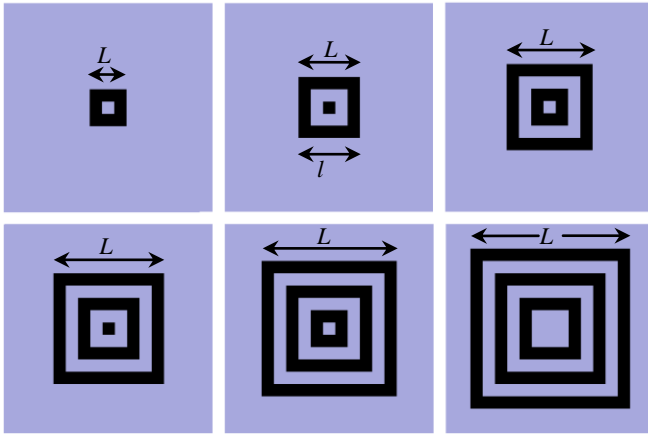


Fig. 4. Evolución de las anillas múltiples en función de la longitud (L)

#### IV. RESULTADOS PARA ANILLAS CUADRADAS Y ELÍPTICAS

Para ilustrar los resultados, se presenta un análisis de varias geometrías en la banda *Ku*, a 14 GHz, para aplicaciones típicas de *DBS*. Para poder trabajar en condiciones prácticas, el tamaño de la celda y las características del dieléctrico se han tomado de diseños reales de reflectarrays para comunicaciones por satélite disponibles en la literatura. El tamaño de la celda es de 12 mm, el espesor del dieléctrico 3.175 mm y la permitividad relativa 2.17.

La Tabla I y compara las prestaciones de las anillas dobles elípticas y rectangulares para distintas anchuras y separaciones de las anillas al variar *L*. Se observa que el rango de variación de fase resultante se encuentra en torno a 600 grados y que la sensibilidad es similar. En el análisis, la estructura se ha excitado con una onda plana linealmente polarizada y con incidencia normal. La mayor variabilidad en los resultados de las anillas elípticas se debe a la aproximación en escalera de la geometría. En la Fig. 5 se presentan las curvas de diseño correspondientes al caso de las anillas elípticas.

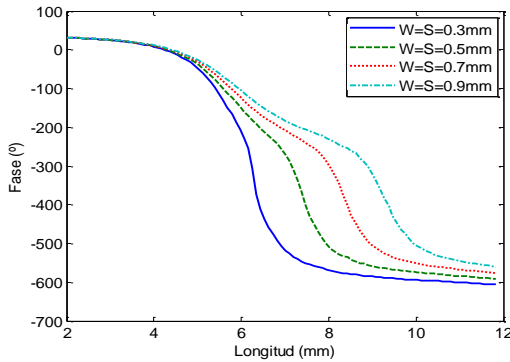


Fig. 5. Curvas de diseño para anillas elípticas

Tabla I. Anillas dobles rectangulares y elípticas

Forma	W	S	Rango	Sensibilidad
Elipse	0.5	0.5	622	373
	0.7	0.7	607	346
	0.9	0.9	591	303
Rectángulo	0.5	0.5	629	329
	0.7	0.7	625	315
	0.9	0.9	621	303

Para mejorar la respuesta en frecuencia, como ya se ha señalado, interesa conseguir mayores rangos de variación de fase para compensar el desfase espacial entre alimentador y reflector. Con estas estructuras resulta relativamente sencillo conseguir rangos de variación que permitan compensar dos y tres longitudes de onda, como puede verse en la Fig. 6 que presenta las curvas de diseño correspondientes a anillas rectangulares triples de anchura 0.5 mm comparándolas con la respuesta del parche rectangular clásico. En la Fig. 7 aparece representada la sensibilidad asociada a estas anillas triples. En este caso se obtiene un rango de fase cercano a 1000 grados con una sensibilidad considerable que disminuye al aumentar la separación entre las anillas.

Por último, en la Fig. 8 se muestran las curvas de diseño para las anillas rectangulares cuádruples para una frecuencia de 11 GHz y con un tamaño de celda de 16 mm. Puede observarse un rango de variación de fase cercano a 1.300 grados y picos significativos de sensibilidad (Fig. 9). Este amplio rango de fase permitiría compensar hasta tres longitudes de onda de retardo.

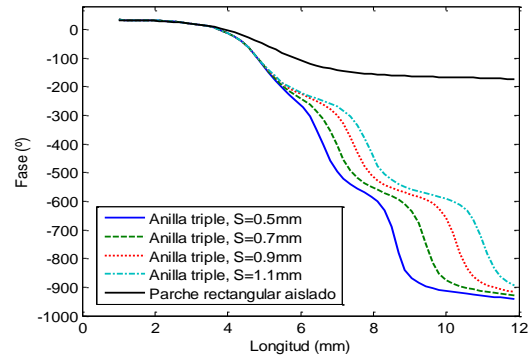


Fig. 6. Comparación entre el parche aislado y la anilla rectangular triple

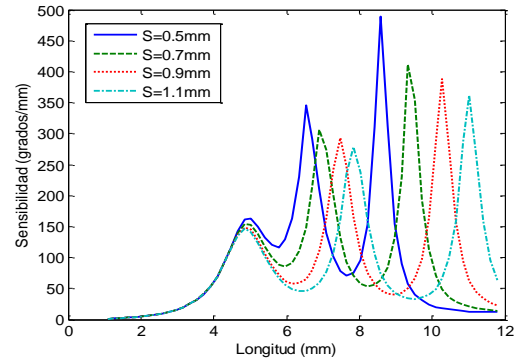


Fig. 7. Sensibilidad de fase para la anilla rectangular triple

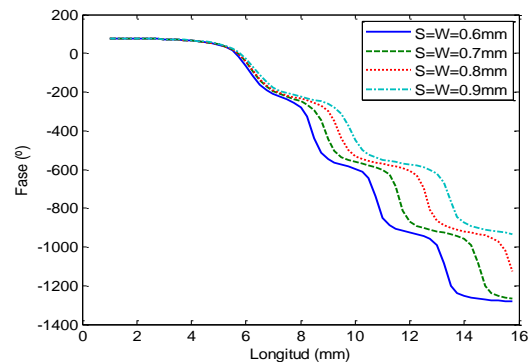


Fig. 8. Curvas de diseño para las anillas rectangulares cuádruples

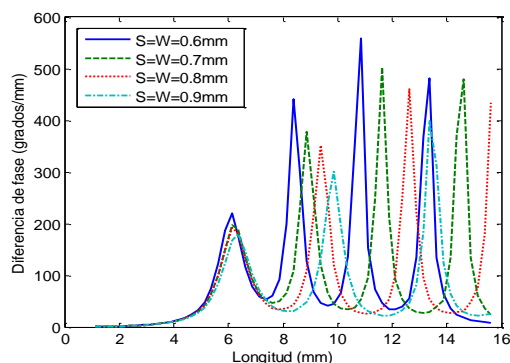


Fig. 9. Sensibilidad para las anillas rectangulares cuádruples

## V. EFECTOS DE LAS TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN

Es importante tener en cuenta el efecto de las tolerancias de fabricación en la implementación del reflectarray. En tecnología impresa, las tolerancias de fabricación se encuentran típicamente entre 100 y 10 micras en función de la técnica utilizada. Dependiendo de la sensibilidad de los elementos de fase, esta tolerancia se traducirá en un error de fase que provocará una degradación en el diagrama de radiación, por lo que la sensibilidad no debe ser demasiado alta.

En esta sección se presenta un estudio del efecto de los errores de fabricación sobre un reflectarray de 625 elementos sintetizado con un método de optimización basado en PSO [5]. La Fig. 10 muestra el efecto que provoca un error aleatorio de  $\pm 80$  micras introducido en cada uno de los elementos del reflectarray para anillas rectangulares triples y cuádruples, cuando se compara con el diagrama de radiación del diseño teórico (con las dimensiones exactas). A pesar de que se introducen errores de varias decenas de grados en algunas celdas, los picos de sensibilidad son aislados y la mayoría de las celdas tienen un error de fase limitado. Como consecuencia, el error en el diagrama resultante aumenta, pero la forma del diagrama de radiación se mantiene en la región a cubrir. Se aprecia que los lóbulos secundarios aumentan de forma apreciable para las anillas triples y más aún para las anillas cuádruples. Si se reduce la tolerancia de fabricación se disminuye considerablemente el error introducido lo que demuestra las posibilidades de estas estructuras.

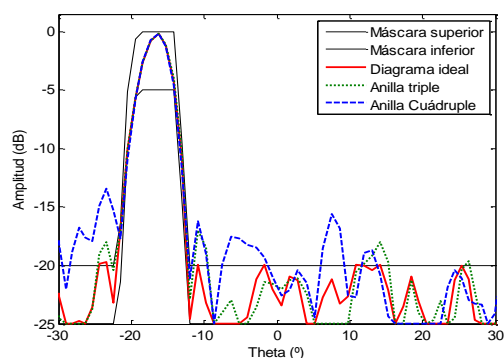


Fig. 10. Degradación en el diagrama de radiación para tolerancias de 80  $\mu$ m

## VI. CONCLUSIONES

En este trabajo y con la ayuda del método CG-FFT, se han analizado las prestaciones de las anillas concéntricas múltiples como elementos de desfase en la implementación de reflectarrays. Se ha analizado su comportamiento y sus ventajas frente a los parches rectangulares monocapa y multicapa. Sus principales ventajas son la facilidad de fabricación y los rangos de fase obtenidos, superando fácilmente los 1.000 grados. Para analizar el efecto de las tolerancias de fabricación se ha simulado un diseño ideal de un reflectarray con síntesis de fase realizada con PSO y una versión perturbada de los elementos del mismo observando una degradación de los lóbulos secundarios. Queda pendiente el estudio del efecto de la incidencia oblicua y de la variación en frecuencia sobre las anillas múltiples.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto numero TEC2008-02730/TEC).

## REFERENCIAS

- [1] J. Huang, J. A. Encinar, "Reflectarray antennas", IEEE Press, Wiley Interscience, John Wiley and Sons Inc., 2008.
- [2] M. R. Chaharmir, J. Shaker, N. Gagnon, D. Lee, "Design of Broadband, Single Layer Dual-Band Large Reflectarray Using Multi Open Loop Elements," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 58, NO. 9, pp. 2875-2883, September 2010.
- [3] Yuezhou Li, M. E. Bialkowski, K. H. Sayidmarie, N. V. Shuley, "Microstrip Reflectarray Formed by Double Elliptical Ring Elements," Proc. of 4th European Conf. on Ant. and Prop. (EuCAP2010), Barcelona, April 2010.
- [4] M. Mussetta, P. Pirinoli, P. T. Cong, M. Orefice, R. E. Zich, "Characterization of Microstrip Reflectarray Square Ring Elements by mean of an Artificial Neural Network," Proc. of 4th European Conf. on Ant. and Prop. (EuCAP2010), Barcelona, April 2010.
- [5] I. Lopez, J. R. Perez, J. Basterrechea, "An Approach for the Design of Reflectarrays Using CG-FFT and PSO", Proc. of 4th European Conf. on Ant. and Prop. (EuCAP2010), Barcelona, April 2010
- [6] M. F. Catedra, R. P. Torres, J. Basterrechea, E. Gago, "The CG-FFT Method, Application of Signal Processing Techniques to Electromagnetics", Artech House Inc., 1995.
- [7] M. Bozzi, S. Germani, L. Perregrini, "Performance Comparison of Different Element Shapes Used in Printed Reflectarrays". IEEE Ant. Wireless Propagat. Letters, Vol. 2, pp 219-222, 2003.